

RECHERCHES LITHOLOGIQUES
SUR LES
PHTHANITES DU CALCAIRE CARBONIFÈRE
DE BELGIQUE,

PAR

A. RENARD, S. J.,

Conservateur au Musée royal d'histoire naturelle de Belgique.



Extrait des *Bulletins de l'Académie royale de Belgique*,
2^{me} série, t. XLVI, n^{os} 9 et 10; 1878.

Bruxelles, impr. de F. HAYEZ.

RECHERCHES LITHOLOGIQUES
SUR LES
PHTHANITES DU CALCAIRE CARBONIFÈRE
DE BELGIQUE.

Les échantillons de roches recueillis au Musée royal d'histoire naturelle, pour le levé de la nouvelle carte géologique, nous ont offert un grand nombre d'excellents types des roches du calcaire carbonifère; ils seront l'objet d'une monographie spéciale où nous étudierons avec tous les développements que comporte leur description lithologique détaillée, les différentes variétés de calcaire, de dolomie, de roches siliceuses et de schistes qui forment cette grande subdivision de nos terrains. Dans le travail préliminaire

que nous avons l'honneur de présenter à l'Académie, nous nous sommes borné à donner les résultats généraux auxquels nous a conduit l'étude lithologique des phthanites; nous envisagerons surtout la question au point de vue des relations génétiques que ces masses siliceuses présentent avec les roches auxquelles on les trouve associées.

La description de la structure et de la composition minéralogique des phthanites étudiés au moyen du microscope n'avait guère fait l'objet des recherches des géologues, et, sauf le mémoire que publieront bientôt MM. Ed. Hull et Hardman, il n'existe pas de travail micrographique embrassant d'une manière spéciale le groupe de roches désignées sous ce nom. Les épreuves du mémoire de ces savants nous ayant été obligeamment communiquées, nous avons été heureux d'y constater que l'étude qu'ils ont faite des roches siliceuses du calcaire carbonifère d'Irlande les a conduits aux résultats que nous avons obtenus nous-même. L'examen macroscopique des phthanites devait d'ailleurs faire prévoir en partie ces résultats; mais il importait de les voir démontrer par l'analyse microscopique. Le fait essentiel que les recherches à l'aide des lames minces nous permettent de mettre en lumière, et sur lequel nous nous rencontrons d'accord avec MM. Hull et Hardman, c'est que ces roches ont été formées par la silicification des éléments calcaireux d'origine organique ou inorganique, qui formaient les calcaires, et que cette pseudomorphose plus ou moins complète s'est effectuée à une époque où les sédiments, tout en jouissant encore d'une certaine plasticité, possédaient déjà la structure que nous observons dans le calcaire carbonifère normal (1).

(1) Plusieurs figures de nos planches micrographiques représentant les coupes des roches du calcaire carbonifère, et qui sont actuellement expo-

Quoique nous arrivions à prouver la même thèse que les savants que nous venons de citer et que notre travail présente avec le leur bien des points de contact, comme nos recherches ont été faites d'une manière tout à fait indépendante, nous pensons que cette note a sa raison d'être. Nous en avons écarté toute redite des faits, qui seront prochainement signalés par MM. Hull et Hardman. Certains points que nous avons cru devoir traiter avec détail ont été plus ou moins passés sous silence ou effleurés dans le travail sur les phthanites d'Irlande; nous citerons en particulier les caractères de la structure macroscopique des phthanites, la similitude qu'ils offrent à ce point de vue avec les calcaires, les indications sur l'allure de l'infiltration siliceuse, sur les caractères physiques et les divers états de la silice dans les roches, sur la nature minéralogique des éléments enclavés dans les plages quartzеuses. Nous pensons en outre qu'il n'est pas sans intérêt pour les géologues belges de posséder une description lithologique détaillée de ces roches qui n'ont été jusqu'ici l'objet d'aucune recherche de ce genre.

Il est indispensable, avant d'aborder la partie micrographique, d'insister sur les caractères que présentent, lorsqu'on les étudie à l'œil nu ou à la loupe, les roches que nous voulons décrire, et d'indiquer la ressemblance qu'ils ont avec celles qui leur sont associées. Nous verrons ressortir de cette manière combien sont intimes les liens qui

sées à Paris avec les travaux du Musée royal d'histoire naturelle sont consacrées à montrer la structure intime des phthanites. On voit par ces figures, comme par les photographies qui accompagnent le mémoire de MM. Hull et Hardman, que ces roches sont formées par l'infiltration de la silice dans le calcaire.

unissent les phthanites et les calcaires, et de ce rapprochement découleront des faits qui viendront à l'appui de la proposition que nous voulons établir et que nous avons indiquée tout à l'heure.

Rappelons en quelques mots la position stratigraphique des phthanites du calcaire carbonifère. La légende de cet étage qui accompagne les feuilles de la carte géologique au $\frac{1}{20\,000}$ nous fournis à cet égard les indications suivantes. D'après l'auteur de la légende du calcaire carbonifère, M. Dupont, on rencontre les phthanites en bandes et en rognons noirs dans le calcaire à chaux hydraulique de Tournai (Assise I, *e*); à la partie supérieure de la même assise, associés à des calcaires et à de la dolomie (I, *f*. Phthanites de Corenne); ils apparaissent de même sous la forme de bandes et de rognons noirs dans le marbre noir de Dinant (II, *b*). Le calcaire à crinoïdes (III, *e*) est surmonté de phthanites gris et rouges. La dolomie (IV, *c*) renferme des bancs de phthanites blancs laiteux; au calcaire (IV, *d*) sont associés des phthanites gris blonds. Le calcaire compacte (V, *a* calcaire de Bachant) renferme des bandes de phthanites calcarifères; au calcaire du Chenois sont subordonnés des phthanites gris (VI, *a*); enfin les couches de calcaire (VI, *a*) contiennent des bandes de phthanites noirs et des phthanites zonaires. On les trouve en outre disséminés sporadiquement dans plusieurs autres couches où ils sont plutôt des accidents que des éléments essentiels. Ces roches siliceuses offrent de bons horizons géologiques à cause de leur continuité et de la résistance qu'elles opposent aux agents atmosphériques. Comme le calcaire qui les renferme subit plus facilement la décomposition que ces roches quartzeuses, des blocs de phthanites restent épars à la surface du sol. On sait le parti qu'a tiré

de la disposition de ces fragments épars, M. Dupont dans son essai d'une carte géologique des environs de Dinant (1). Outre les fragments de phthanite épars que nous venons de signaler, on en trouve d'autres mêlés avec des sables et des argiles (terrain geyserien de Dumont), ou accompagnant des dépôts de limonite, mais leurs relations sont moins bien déterminées que celles des phthanites épars dont nous parlions tout à l'heure. On a observé en outre que les sables et les argiles forment habituellement des amas considérables dans les couches à phthanites (2).

Sans nous arrêter à d'autres détails stratigraphiques, disons un mot des rapports de ces roches siliceuses avec les couches qui les renferment. Les phthanites constituent généralement dans les calcaires des dépôts stratiformes; quelquefois ces couches sont de faible épaisseur, mais elles sont continues; d'autres fois elles offrent des solutions de continuité dans le sens horizontal, des nodules de phthanite s'isolent et forment des rognons aplatis, irréguliers étendus dans le plan des couches et présentant des dispositions analogues à celles que nous offrent les nodules siliceux du terrain crétacé. On peut dire à ce sujet que les phthanites du calcaire carbonifère, qui au fond a la même origine que la craie, représentent les nodules de flint, comme dans le terrain crétacé des Alpes, des Pyrénées, de l'Italie les roches jaspoïdes représentent les assises des silex crétacés du Nord de la France.

En commençant la description lithologique de ces roches siliceuses il est important de faire remarquer le sens que

(1) *Bulletins de l'Académie royale de Belgique*, 2^{me} série, t. X, nos 9 et 10.

(2) *Bulletins de l'Académie royale de Belgique*, t. VIII. 1863.

nous prêtons à la dénomination de phthanite, sous laquelle nous les désignons. D'Omalius en appliquant ce mot aux roches siliceuses intercalées dans les calcaires lui a donné un sens plus étendu que ne l'avait fait Haüy (1). Il est évident que l'on comprend sous ce nom collectif beaucoup de matières désignées par les minéralogistes sous des appellations différentes telles que silex corné, pyromaque, jasper et jusqu'au psammite ; mais afin de ne pas compliquer la nomenclature lithologique, nous continuerons à désigner par le nom de phthanite les diverses variétés de roches que l'usage a groupées sous cette dénomination. Dans la description macroscopique nous aurons soin de signaler les principaux types lithologiques auxquels on doit rapporter ces roches siliceuses.

Examinons-les d'abord au point de vue de la texture. Sans avoir l'aspect vitreux de beaucoup de roches quartzifères, les phthanites les plus compactes ont un grain serré,

(1) La dénomination de phthanite empruntée à la nomenclature d'Haüy a été appliquée par ce savant à une roche quartzreuse, argileuse à structure schisto-compacte. « *ῥεθίνω* je préviens, parce que sa texture schistoïde » épaisse et son caractère argileux semblent annoncer d'avance son passage au schiste (Haüy, *Traité de Minéralogie*, 4 vol., p. 546. 1822). » Cette définition ne peut s'appliquer à la généralité de nos phthanites, dont quelques-uns sont de véritables jaspes, des calcédoines, des calcaires silicifiés, des kieselschiefer ; Haüy met phthanite comme synonyme du kieselschiefer de Werner. Les anciens auteurs et Cordier en particulier donnent à ce mot un sens plus restreint qu'on ne le fait en Belgique. Ils ne l'appliquent qu'aux masses quartzreuses opaques, unies plus ou moins intimement à une petite quantité de matières talqueuses, phylladeuses ou anthraciteuses. Pour d'Omalius le phthanite proprement dit est un jasper qui possède ordinairement la texture schistoïde et la couleur noir-grisâtre. Les géologues anglais emploient le mot *chert* comme équivalent de phthanite pris dans le sens le plus large.

leur cassure est rarement conchoïde; ils se brisent en minces esquilles, qui sont transparentes sur les bords lorsque la masse n'est pas trop chargée de matières colorantes étrangères. A ce dernier point de vue ils se rapprochent du silex de la craie et jusqu'à un certain point aussi de la calcédoine. D'autres ont une texture grenue, à cassure droite ou imparfaitement conchoïde, écaillense, et suivant les matières pigmentaires qu'ils renferment, les minces éclats sont translucides jusqu'à transparents. On pourrait les rapprocher alors des *hornstein* des pétrographes allemands. D'autres enfin ont le grain des grès ou des psammites. Parmi toutes les variétés de texture signalons encore la texture poreuse ou caverneuse, que nous montrent assez souvent les phthanites. Ces pores sont produits généralement par la disparition des parties calcaires qui formaient autrefois l'enveloppe d'organismes. Après une silicification incomplète de la roche, les grandes plages calcareuses qui n'avaient pas encore été pseudomorphosées ont été entraînées par les eaux chargées d'acide carbonique; c'est ainsi qu'il est très-fréquent de voir que dans certains phthanites caverneux les pores ont la forme de perforations circulaires, et présentent au centre un axe siliceux entouré de petits disques étagés. Cependant les phthanites qui par cette structure caverneuse se rapprochent des meulières ont les parties solides d'une grande compacité. On peut dire que toujours le grain de ces roches est cryptocristallin et qu'elles laissent, lorsqu'on les étudie à l'œil nu, l'impression d'une masse parfaitement homogène. On trouve aussi parmi les phthanites quelques échantillons zonaires composés de bandes alternantes noires et blanches qui les font ressembler à des agates zonaires; signalons aussi les phthanites à structure bréchoïde, sur

texture

lesquels nous aurons à revenir. Ces quelques détails sur la structure de masses minérales désignées sous le nom de phthanites nous montrent bien que ce groupe comprend au point de vue pétrographique des roches fort hétérogènes. Ce que nous disons de la texture peut se dire au même titre des autres caractères lithologiques ; ainsi nous rappelions tout à l'heure que certains phthanites étaient transparents comme l'agate ; d'autres, au contraire, sont opaques comme le jaspe et n'ont pas même la faible translucidité du silex. La cassure présente à son tour des différences qui varient d'un échantillon à l'autre ; nous avons vu que certains phthanites compactes ont la cassure conchoïde et luisante ; c'est le cas, par exemple, pour les phthanites noirs bien homogènes dont les éclats peuvent être comparés pour l'égalité de la surface à ceux de certains silex pyromaque.

Mais dans le plus grand nombre d'échantillons que nous avons examinés, on remarque que ces roches se brisent en fragments tabulaires, stratiformes, cuboïdes ou rhomboïdaux ; ces phthanites ont alors une véritable disposition en couches, comme le calcaire auquel ils sont associés. Dans d'autres cas, ils se divisent en petits lits écailleux, deviennent schistoïdes et passent au véritable *Kieselschiefer*. L'éclat de la cassure varie naturellement avec la compacité et le plus ou moins d'altération ; on voit du phthanite dont la cassure est luisante ou cireuse, quelquefois elle est mate et terreuse ; une couche de cacholong recouvre les surfaces altérées ; cette substance est presque toujours colorée par de l'hydrate de fer. Quant à la couleur, elle est aussi variée que la texture, quelques phthanites sont blanchâtres tachetés de points noirs, d'autres sont blonds tirant sur le bleu, d'autres rosâtres, rouges vineux,

grisâtres, gris bleuâtres, bleu foncé tirant sur le noir. On peut dire que ces roches présentent toutes les nuances des teintes que revêt le calcaire.

Ceci nous amène à parler des traits de ressemblance que l'on peut saisir au point de vue de la structure et du faciès général entre les roches calcareuses et les roches siliceuses, qui sont l'objet de cette note. Ces analogies seront surtout mises en lumière par l'étude microscopique; toutefois on peut parfaitement les constater en étudiant les échantillons à l'œil nu. Nous avons fait remarquer combien certains phthanites cellulux sont riches en crinoïdes, ils sont comme pétris de fossiles qui ont dû nécessairement posséder autrefois un test calcaire; la ressemblance de structure entre les phthanites fossilifères et le calcaire est si grande, qu'il faut quelquefois recourir à l'examen des propriétés physiques, à la dureté et à la densité pour ne pas se tromper sur la nature de la roche. Dans d'autres cas, on constate les mêmes traits de similitude pour des phthanites sans fossiles macroscopiques; c'est ainsi qu'il est souvent difficile de distinguer à première vue un marbre noir compacte d'un phthanite noir à grains fins, les deux roches présentant la même cassure, le même éclat, etc. Il serait aisé de poursuivre les rapprochements entre les diverses variétés de ces roches siliceuses et des calcaires auxquels elles sont associées; ce rapprochement indique au fond une relation que les observations qui suivent achèveront de mettre en lumière. Rappelons encore des phthanites grenus, grisâtres ou bleuâtres qui ont l'aspect cristallin, les éléments à facettes miroitantes et la texture caverneuse, qui distinguent certaines dolomies. Les phthanites bréchoïdes offrent à leur tour les mêmes analogies avec les calcaires brèches.

Ces phthanites sont composés de fragments anguleux, irréguliers, dont les dimensions varient de quelques millimètres à plusieurs centimètres; ces fragments sont ordinairement d'une grande compacité, et contrastent avec la matière qui cimente les parties anguleuses, les veines qu'elle forme étant ordinairement d'un grain moins serré. La couleur de cette pâte intercalée est moins foncée, d'un aspect plus rugueux, elle se décompose beaucoup plus facilement que les fragments qu'elle empâte, elle se transforme en une matière terreuse ordinairement teintée par de la limonite. Lorsque ces échantillons sont ainsi décomposés, les fragments peuvent facilement se détacher de la roche. Quand les vides entre les fragments anguleux étaient trop grands et que l'apport de la silice qui devait les remplir était peu considérable, cette substance a cristallisé sur les parois sous la forme de cristaux pyramidés à prismes très-raccourcis. Ce qu'il y a de remarquable dans ces phthanites bréchoïdes c'est surtout la forme des fragments empâtés : ils sont rectangulaires, parallélipédiques, polygonaux, mais toujours à contours nets et à arêtes vives. Que l'on admette que ces fragments soient des éclats de calcaire silicifié, ou qu'ils aient été toujours siliceux, il faut dans tous les cas, nous paraît-il, pour expliquer cette structure, recourir à une fragmentation qui se serait opérée presque sur place, sans faire intervenir d'une manière essentielle l'action de transport. En effet, les fragments ne nous montrent pas plus que ceux du calcaire brèche, des caractères qui conduiraient à faire attribuer à l'action mécanique des eaux le transport de ces éléments anguleux dans le lieu où ils ont été cimentés par des infiltrations siliceuses ou calcareuses. Nous développerons cette question quand nous traiterons du calcaire brèche.

Les fragments des phthanites bréchiformes sont généralement colorés en noir bleuâtre, blanc grisâtre, ils ont quelquefois une teinte opaline. Pour compléter la ressemblance qu'ils offrent avec les calcaires brèches on voit dans ces éclats siliceux comme dans les blocs du calcaire brèche qu'ils sont sillonnés par des veinules blanchâtres dont le remplissage s'est fait avant que la roche eût pris le caractère bréchiforme que nous lui voyons. Nous avons fait attention pour découvrir sur nos échantillons à l'aide de ces veines de quartz les fragments qui auraient été autrefois juxtaposés et nous avons essayé de suivre le prolongement de ces veinules, que nous appellerons primaires, dans des fragments juxtaposés. Nous ne sommes parvenu que rarement de cette manière à retrouver les pièces de rapport qui constituaient l'ancienne roche, dont les débris forment les brèches. On remarque toutefois en général que tous les fragments d'un même phthanite ont pour la couleur et la texture un air de famille qui semble indiquer que tous les éclats d'un même spécimen proviennent de la désagrégation d'une même roche. Comme cette variété de phthanite renferme rarement des restes de fossiles macroscopiques qui permettraient immédiatement de nous prononcer sur la question d'origine, nous ne préjugerons rien; nous la traiterons lorsque nous aurons étudié des lames minces de cette variété.

Après ce que l'on vient de voir, on peut dire d'une manière générale que sauf pour les échantillons de phthanite à structure zonaire et de quelques-uns qui s'offrent sous la forme concrétionnée, il existe une très-grande analogie macroscopique entre les roches siliceuses et celles qui leur sont associées. On ne voit pas d'une manière aussi évidente les rapprochements qu'il y aurait à établir entre

s'est familiarisé avec l'aspect de la microstructure du calcaire, c'est l'absence de ces granules plus ou moins irréguliers, quelquefois sillonnés de lignes de clivage, présentant une teinte grisâtre due aux nombreuses enclaves, qui rendent les plages calcaireuses généralement peu transparentes. A la place de ce que l'on pourrait appeler la masse fondamentale du calcaire, de cette pâte à grains fins dans laquelle sont enchâssés les éléments de plus grandes dimensions tels que les fragments de mollusques, de crinoïdes, de coraux, de bryozoaires et des coquilles de foraminifères, on voit dans cette lame mince des plages homogènes et tout d'une venue, beaucoup plus transparentes que le calcaire et en certains points presque sans enclaves. La substance qui se montre ainsi intercalée entre de grandes sections de calcaire est de la silice, qui remplace la masse fondamentale de la roche primitive; elle s'est substituée à la pâte calcaireuse qui existait autrefois. On observe qu'elle s'avance dans toutes les parties où, à cause de la finesse du grain, elle pouvait plus facilement pseudomorphoser les éléments constitutifs; tandis qu'on la voit contourner sans les attaquer, si ce n'est sur les bords, les grandes sections des restes organiques. On constate que c'est surtout au calcaire que la silice s'est substituée; car en le refoulant de la pâte, elle a laissé parfaitement intacts les filaments charbonneux ou ferrugineux que l'on découvre dans le calcaire normal et que l'on retrouve ici enveloppés dans un lavis de matière pseudomorphique. Dans cette roche donc toute la masse fondamentale a été remplacée par de la silice. Cette matière infiltrée possède des caractères très-nets, et que l'on peut constater sur les moindres particules.

Ce qui fait distinguer la silice dans cette roche ce sont

surtout ses caractères optiques ; à l'aide de l'appareil de polarisation ces plages, en apparence homogènes, se résolvent en granules quartzeux, fortement serrés les uns contre les autres, ayant chacun une orientation optique différente ; les parties les plus transparentes se montrent alors formées de fibres rayonnantes comme on les observe dans les lames minces des calcédoines. Nous reviendrons sur cette structure fibro-rayonnée du quartz lorsque nous étudierons la structure microscopique des phthanites les plus concrétionnés. Quelques points de la masse siliceuse s'éteignent entre les nicols croisés et se comportent comme une matière amorphe ; mais la majeure partie de cette substance est incontestablement biréfringente et sa polarisation chromatique bien marquée tranche sur les teintes beaucoup moins vives des sections calcareuses. Vues par réflexion, les parties siliceuses apparaissent opalines, celles qui sont composées de calcaire ont l'aspect mat. Les sections transparentes quartzueuses sont quelquefois entourées de bandes brunâtres, ces zones se séparent nettement de la partie fibro-radiée. Quelquefois aussi cette coloration brun-jaunâtre de la périphérie se retrouve au centre de la plage. Lorsque la silice n'est pas composée de fibres cristallines, elle est habituellement revêtue partout de cette même teinte brunâtre. Il est bien probable qu'elle soit due aux matières charbonneuses et ferrugineuses qui existaient dans le calcaire et qui auront été englobées par la silice colloïde, qui s'introduisait en pseudomorphosant le calcaire. Il est impossible toutefois d'individualiser avec les plus forts grossissements du microscope les particules dont la présence provoque cette coloration. Mais il existe dans la silice des granules noirs jaunâtres sur les bords, d'assez grande dimension et de forme irrégulière ; ils sont

en grande partie composés de limonite provenant très-probablement de la décomposition de cristaux ou de grains de pyrite (1). Les enclaves les plus remarquables et les plus nombreuses de la silice colloïde sont des microlithes de forme rhomboédrique. Ces petits cristaux ont la forme des rhomboèdres primitifs de la calcite ou de la dolomie (2). Dans la roche que nous étudions, ils descendent environ à 0^{mm},01 et sont d'une régularité parfaite. Nous apprendrons bientôt à connaître les divers aspects que

(1) En traitant de la composition des roches du calcaire carbonifère nous ferons connaître la méthode que nous avons suivie pour déterminer chimiquement la nature de chacun des éléments constitutifs d'une lame mince de ces roches. A l'aide de tubes capillaires nous avons pu attaquer chacune des plages dont nous avons étudié au préalable les caractères physiques; il nous a été possible de suivre sous l'objectif du microscope la marche de l'attaque, de recueillir les solutions et de produire ensuite les réactions caractéristiques des substances qui entrent dans la composition des calcaires et des dolomies.

(2) Il est assez difficile, à cause du quartz qui les enveloppe, de dire à laquelle de ces deux espèces voisines, ces rhomboèdres doivent être rapportés. L'analyse de plaques minces dans lesquelles nous les avons observés a montré une teneur assez forte en carbonate de magnésium et nous avons d'autres raisons pour croire que ces cristaux sont de la dolomie. Dans la notice que nous publierons prochainement sur les roches dolomitiques nous prouverons par nos observations microscopiques que le carbonate double de calcium et de magnésium vient à son tour, à peu près comme nous allons le voir pour la silice, s'infiltrer dans les vides du calcaire et aux points où le grain de cette roche est moins serré; avec cette différence essentielle toutefois qu'autant la silice se moule exactement sur les corps, qu'elle remplace en prenant leur forme, autant la dolomie, s'infiltrant dans le calcaire, se présente avec sa forme propre. Lorsqu'un calcaire se dolomitise on voit qu'il est comme pénétré dans tous les interstices, principalement dans ceux qu'offrent les restes organiques, par de petits cristaux jaunâtres rhomboédriques; leur accumulation est telle dans certains cas qu'ils parviennent à effacer la structure primitive de la roche dans laquelle ils se sont déposés.

ces enclaves peuvent présenter dans les phthanites ; il est rare de les trouver aussi bien cristallisées que nous les voyons dans ce calcaire siliceux. Il paraît évident qu'elles ont cristallisé du résidu des carbonates qui composaient autrefois la roche. Ce résidu mêlé à la silice gélatineuse se sera isolé et aura pris la forme cristalline lors de la solidification de la matière qui les enveloppe.

On distingue parmi ces enclaves quelques formes hexagonales que l'on pourrait confondre avec des sections d'apatite, mais qui sont des rhomboédres dont l'axe principal est orienté parallèlement à l'axe de vision du microscope. Souvent ces enclaves cristallines renferment elles-mêmes des inclusions noires et opaques.

Il est à signaler que le quartz de cette roche, si riche d'ailleurs en enclaves, ne renferme pas, peut-on dire, de vacuoles avec liquide. Ce fait remarquable, et que nous avons pu constater pour toutes les roches siliceuses du calcaire carbonifère où nous avons découvert de la silice colloïde, établit une distinction bien nette entre les sections de quartz des phthanites et celles de certaines roches cristallines anciennes qui sont, comme on le sait, criblées d'enclaves liquides. Ceci nous indique que les conditions de température et de pression qui présidèrent à la formation des grains de quartz des granites, par exemple, n'existaient pas pour la silice infiltrée, se solidifiant dans le calcaire et le pseudomorphosant.

Nous avons vu jusqu'ici la description de la matière infiltrée et des produits dont la forme actuelle est postérieure à l'introduction de la silice. Disons maintenant comment apparaissent les parties calcareuses qui n'ont pas été refoulées par la silice ni entièrement pseudomorphosées. Dans le calcaire dont nous examinons la structure intime, il n'y

a que les grandes plages de calcaire qui aient échappé à la silicification; car, ainsi que nous l'avons dit plus haut, les grains de la masse fondamentale et les coquilles des petits organismes sont pseudomorphosés. Les sections de calcaire qui n'ont point encore été transformées, apparaissent avec une teinte grisâtre; elles sont semi-opaques, sillonnées par les lignes de clivage et des lamelles hémotropes suivant — $\frac{1}{2}$ R, leurs contours et leur structure indiquent que ce sont des débris d'organismes. Mais si l'on observe les bords de la section ou si l'on suit les fissures, on s'aperçoit que ces plages plus grandes de calcaire sont à leur tour en voie de se silicifier. Elles prennent sur les bords un aspect vague, leurs contours semblent s'effacer, la structure organique s'atténue, elles revêtent une teinte jaune-brunâtre, leur transparence augmente, donnent des couleurs assez vives avec l'appareil de polarisation; en un mot, elles ont tous les caractères que nous indiquions plus haut pour la silice des phthanites. L'imprégnation s'est donc trouvée arrêtée sur les contours de ces sections dont le diamètre dépasse quelquefois plusieurs millimètres.

Les sections de crinoïdes offrent de bons exemples de cette silicification incomplète. Ainsi, dans la préparation que nous décrivons, on observe que les sections circulaires sont transformées en silice à la fois sur la périphérie et au centre, toute la bande comprise entre la zone externe et l'axe central a conservé intacts les caractères des sections de crinoïdes telles qu'elles se montrent dans le calcaire normal.

La masse de calcaire était trop considérable pour que la silice qui l'envahissait de deux côtés pût la transformer tout entière. Dans le centre, après la mort de l'animal, les

matières organiques disparurent et laissèrent un vide où la silice pénétra en même temps que la surface externe, en contact immédiat avec la solution siliceuse qui circulait dans la roche, se modifiait sur une zone qui atteint quelquefois en largeur environ $\frac{2}{5}$ de la section circulaire ou parallélogrammique. Ces détails micrographiques sont en parfait accord avec un fait souvent signalé pour les phthanites caverneux et que nous avons rapporté plus haut : lorsque nous disions que ces roches siliceuses renferment souvent dans les vides l'axe de crinoïdes transformés en silice, garni de rondelles étagées et que l'empreinte des articulations est conservée dans la roche. Si l'on se représente une silicification incomplète, comme celle dont nous venons de démontrer l'existence, et qu'on laisse agir ensuite sur la roche l'eau chargée d'acide carbonique, le reste de calcaire sera éliminé peu à peu et sa disparition entraînera la formation de pores ayant les caractères que nous venons d'indiquer.

Étudions maintenant les phthanites qui reproduisent la structure microscopique du calcaire, mais dans lesquels l'élément calcaireux qui formait la roche primitive a été complètement remplacé.

Nous prendrons comme type de cette variété un phthanite de l'assise V, *f*. La silice se montre ici avec les caractères que nous lui avons reconnus dans la roche que nous venons de décrire; mais on ne retrouve plus aucune plage de calcaire, la silice a tout pénétré en conservant la forme des organismes microscopiques dont l'accumulation formait autrefois presque toute la roche. On découvre dans cette plaque un grand nombre de coquilles de foraminifères appartenant aux genres *Saccamina* et *Endothyra* dont les cloisons des chambres sont parfaitement indiquées par

des traits foncés, l'intérieur de ces sections est rempli de silice fibro-rayonnée ou granulaire. La spécification de ces rhizopodes, toujours difficile lorsqu'on a affaire à des sections, devient plus difficile encore dans un phthanité que dans une lame mince de calcaire. Par la silicification de ces roches, les formes délicates pseudomorphosées perdent toujours de la netteté de leurs contours, elles s'arrondissent et se confondent avec la masse entourante, prennent un aspect vague et indécis, quoique l'on ne puisse douter un instant que ces formes ne soient d'origine organique. On sait d'ailleurs que dans la silicification des fossiles, il arrive bien souvent que la structure interne disparaît et qu'il ne reste que la forme extérieure des coquilles. — Lorsqu'on étudie cette préparation à l'aide de la lumière polarisée, on n'hésite pas à reconnaître dans les plages blanchâtres, transparentes, les caractères du quartz en granules ou fibro-rayonné. La masse fondamentale est composée de grains siliceux, on retrouve cette structure granuleuse dans l'intérieur des sections sphériques que nous rapportons aux *Saccamina* et dont nous reparlerons dans la description du calcaire. Tout le quartz fibro-radié ou granulaire montre entre les nicols les phénomènes de la polarisation chromatique; mais les plages siliceuses jaunâtres ne se comportent pas de même sur toute leur étendue.

Lorsqu'on les étudie à la lumière polarisée et avec la plaque de Klein, une partie de cette matière apparaît isotrope; on n'observe pas de modifications dans la teinte violette, par exemple, pour une rotation complète de la plaque tournante. Ces petites sections amorphes sont disséminées irrégulièrement entre les grains de quartz biréfringents. L'interprétation qui se présente tout d'abord

c'est que cette matière siliceuse isotrope doit se rapporter à l'opale ; mais ce qui fait douter de cette détermination , c'est qu'après de nombreux essais nous ne sommes parvenu à déceler que des traces extrêmement faibles de silice soluble dans les roches où nous avons constaté la présence d'une grande quantité de silice isotrope.

Parmi les substances enclavées dans la silice nous remarquons de nouveau quelques rhomboèdres de calcaire ou de dolomie : il est rare que l'on trouve ici ces cristaux bien formés ; cette matière y est le plus souvent sous une forme qui la rendrait méconnaissable au premier aspect. Il convient de décrire ces enclaves avec quelque détail, vu l'importance qu'ils acquièrent par leur présence constante dans tous les phthanites et les difficultés qu'elles peuvent présenter pour interpréter exactement leur nature minéralogique. Dans cette lame mince, comme dans toutes celles dont la description suivra, on voit que la silice est comme pétrie de petits globules dont l'abondance est telle qu'ils troublent la transparence des sections qui les renferment et leur donnent un aspect voilé. C'est comme une fine poussière répandue dans toute la masse cristalline. Ces enclaves plus ou moins circulaires descendent à des dimensions infinitésimales et peuvent être rattachées par un grand nombre de formes de transition aux rhomboèdres que nous avons décrits plus haut. En les étudiant avec les forts grossissements, souvent on n'entrevoit pas sur leur pourtour les traces d'angles ou de faces cristallines ; ces globules ont une teinte noirâtre ou gris d'acier, et présentent un point brillant au centre, offrant l'éclat d'un grain métallique vu à la lumière réfléchie. Mais ces inclusions ne sont pas opaques, leur aspect n'est dû qu'à la réfraction des rayons lumineux, qui traversent un mi-

lieu fortement réfringent. On retrouve les mêmes caractères sur des individus mieux développés de la même substance, et l'on s'aperçoit qu'ils commencent à simuler des formes rhomboédriques; souvent ces cristaux sont encore atrophies et irréguliers, leurs faces sont bombées, corrodées; mais ils ne peuvent pas être séparés des formes rhomboédriques parfaites; ils relient ces enclaves globulaires à celles qui portent empreint le caractère cristallin le plus net. La dissémination de cette matière répandue sous la forme globulaire dans les plaques de silice infiltrée s'explique en admettant qu'au moment de la solidification du quartz, la substance qui constitue ces enclaves était intimement mélangée à la solution qui pénétrait dans la roche et refoulait le calcaire; lorsqu'elle cristallisa un grand nombre de points devinrent en même temps des centres d'attraction autour desquels se réunit la matière qui devait former les inclusions.

Lorsqu'on attaque la préparation à l'aide d'un acide, on remarque sous le microscope un dégagement de bulles à tous les points où ces enclaves ne sont pas entièrement recouvertes par le quartz. Quelquefois ces enclaves rhomboédriques et globulaires sont remplies d'un pigment noir opaque ferrugineux ou charbonneux. Cette matière noire se retrouve aussi dans la masse quartzreuse sous la forme dendritique ou avec les mêmes caractères qu'on lui reconnaît dans le calcaire non silicifié. Quelquefois, lorsque la forme des fragments de polypiers, de crinoïdes ou de foraminifères est presque effacée, ces granules noirâtres permettent de retracer les contours et d'attester l'existence antérieure des sections de calcaire à structure organique. Car, ainsi que nous le montrerons, cette granulation noirâtre se retrouve constamment dans les crinoïdes,

par exemple, et comme elle n'a pas été éliminée par l'introduction de la silice, nous pouvons conclure à la présence de crinoïdes, alors même que leur pseudomorphose est complète, dès que nous voyons ces grains opaques se grouper de façon à dessiner un cercle ou un parallélogramme.

Nous croyons inutile d'ajouter de nouvelles preuves en faveur de notre interprétation, nous pourrions les trouver en parcourant toute la série de nos plaques minces taillées dans des roches de ce type où l'on retrouve, à l'aide du microscope les diverses variétés de calcaire transformées en silice. C'est ainsi, pour citer quelques exemples, qu'on reconnaît dans des préparations de phthanites qu'ils dérivent de la pseudomorphose des calcaires schistoïdes; on y voit la disposition linéaire des éléments primitifs, les sections de crinoïdes et de foraminifères silicifiées sont aplaties dans le sens de l'allongement; les phthanites noirs et massifs sont, au point de vue de la structure, la répétition des marbres noirs à grains fins; le microscope y reconnaît les débris organiques, et l'accumulation de matières colorantes qui caractérisent les calcaires noirs. Mais, dans tous les cas, si effacée que puisse être la structure primitive des roches de ce type, on peut y constater que la silice a pseudomorphosé un calcaire.

Il nous reste à voir enfin des préparations qui nous montrent des phthanites où la silicification s'est opérée de manière à voiler presque entièrement la structure primitive et où prédomine surtout la structure fibro-radiée et le concrétionnement. Dans les cas que nous avons à décrire la silice ne se borne plus seulement à remplacer le calcaire; sous l'action concrétionnante de la matière pseudomorphique les éléments primitifs se déforment et il arrive

qu'il ne reste plus aucune trace de structure organique. Ajoutons cependant que le groupe de phthanites, que nous avons encore à étudier, ne peut pas se séparer d'une manière absolue de celui dont il vient d'être question tout à l'heure. Nous avons vu, en effet, de la silice concrétionnée et fibro-rayonnée dans les phthanites que nous avons déjà décrits, et d'un autre côté si l'on taille plusieurs lames minces d'une des roches siliceuses, que nous rangeons dans cette troisième catégorie, on parviendra inmanquablement à retrouver des plages dont la structure rappelle encore celle du calcaire.

Une préparation de phthanite de l'assise IIIe nous présente un excellent exemple du troisième type de ces roches siliceuses; non-seulement tout le calcaire a disparu, mais les sections des fossiles presque méconnaissables sont enveloppées d'un réseau de silice concrétionnée granuliforme ou amorphe. A la lumière ordinaire on aperçoit des plages circulaires, teintées en brun; ce sont les centres d'où partent d'innombrables aiguilles siliceuses. Ces formes arrondies sont divisées en zones concentriques qui se distinguent par l'intensité de la teinte brunâtre. Les centres des concrétions sont ordinairement alignés, et soudés d'un côté à des parties moins homogènes dans lesquelles on retrouve des enclaves rhomboédriques et qui rappellent la masse fondamentale des phthanites des deux premiers types; de l'autre côté ils passent à des plages incolores et transparentes sans inclusions et formées de fibres siliceuses rayonnantes. A l'aide d'un faible grossissement on peut embrasser une surface assez considérable de la préparation et l'on voit que la masse est toute entière concrétionnée, il n'y existe plus guère de sections rectangulaires, toutes les lignes sont arrondies. Les points situés autour des cen-

tres brunâtres et dans lesquels on découvre le quartz cristallisé sous la forme d'aiguilles allongées, sont d'une transparence et d'une limpidité parfaite. Cette structure n'apparaît bien qu'à la lumière polarisée. On voit alors partir de la périphérie des sections circulaire des milliers de petits prismes, placés sur le prolongement des rayons, ils viennent s'arrêter brusquement contre les aiguilles s'éloignant d'autres centres. Au contact de ces fibres qui prennent naissance à chacun des centres brunâtres, on remarque une fine dentelure. Ces petites prismes sont des microlithes de quartz, groupés parallèlement à l'axe principal. Chaque groupe montre le phénomène de la croix noire et chaque plage est colorée par des teintes vives panachées. On découvre encore dans cette préparation des granules sphériques transparents rougeâtres que nous rapportons au fer oligiste. Dans une plaque mince d'un phthanite du même type nous avons découvert des lamelles jaune-brunâtre dont la section est hexagonale et les angles de 120° , nous les considérons aussi comme des cristaux de la même substance altérée.

Afin de nous assurer si les phthanites bréchoïdes, dont nous avons parlé dans la description macroscopique, avaient été formés de la même manière que les roches siliceuses que nous venons de décrire, nous avons fait polir des fragments anguleux de ces masses bréchiformes. Nous avons retrouvé dans les plaques minces de ces phthanites toutes les preuves d'une pseudomorphose de silice sur calcaire. Il faut donc admettre pour cette variété de roches siliceuses le même mode de formation que nos recherches conduisent à adopter pour tous les phthanites associés au calcaire carbonifère.

La silicification des roches calcaireuses est incontestablement le résultat d'une action hydrochimique, sur laquelle nous aurons à revenir bientôt lorsque nous étudierons d'une manière générale les conditions dans lesquelles les masses minérales de cet étage se sont déposées. Disons dès maintenant que cette pseudomorphose de silice sur calcaire ne présente aucun rapport avec les imprégnations de silice observées quelquefois dans les couches de contact des roches éruptives. La silicification de nos calcaires est la répétition sur une plus grande échelle d'un fait observé tous les jours, la transformation en silice des enveloppes calcaires des organismes. Nous avons ici à la fois cette pseudomorphose des matières organiques en silice et celle des matières minérales qui les empaïaient. La silice gélatineuse, s'infiltrant dans un dépôt sédimentaire formé principalement de foraminifères, de crinoïdes et de coraux, a imprégné ces restes organiques en même temps que la masse fondamentale du calcaire. Il existe dans les formations sédimentaires des faits identiques à ceux que nous rappelons et qui nous montrent la silicification des calcaires s'étendant sur des bancs continus de toute une région (1).

(1) Les calcaires de la formation silurienne en Tennessee, Kentucky et Indiana sont souvent transformés en couches de hornstein ou de flint. Près d'Herculanum dans le Missouri Featherstonhaugh observa que presque tout le système de couches est constitué par les mêmes roches calcaires transformées en silice. Au N. la silicification est moins intense et puis au Missouri on rencontre le calcaire ordinaire. Il est évident que ces couches étaient autrefois des calcaires, car elles contiennent les mêmes fossiles que le calcaire avec la seule différence qu'ils sont silicifiés. Ce fait est encore démontré parce que le même auteur a trouvé en Wagne, au S. de l'État de Missouri, le calcaire oolithique entièrement silicifié et la forme des oolithes est conservée. (*Geol. Report of an examination made of the elevated country between the Missouri and the red River, 1855*, pp. 42 et 55).

Nous sommes donc amené à admettre qu'à certains intervalles les eaux de la mer carbonifère tenant en solution un dissolvant du calcaire, l'acide carbonique, par exemple, attaquaient les matières calcaires, l'acide silicique s'infiltrait dans les sédiments calcaires et les imprégnait à mesure qu'elles se décomposaient. Cette imprégnation de silice s'est faite à une époque où les masses étaient plus ou moins à l'état pâteux et où elles possédaient cependant une disposition stratifiée. C'est ce que nous prouvent l'allure stratiforme que l'on reconnaît quelquefois aux phthanites, et la schistosité, qui caractérise plusieurs de ces masses siliceuses. On ne peut pas admettre que cette infiltration se soit faite longtemps après le dépôt; car les bandes de phthanites occupent des horizons bien déterminés et ces zones siliceuses sont recouvertes de couches, qui n'ont pas subi d'action pseudomorphique. Il est évident encore que la silicification a eu lieu avant la formation des joints et des fissures; car les crevasses, résultant des forces mécaniques en action sur les sédiments déjà solidifiés, ne sont pas remplis de filons quartzeux. La forme concrétionnée qui caractérise quelques-unes de ces roches siliceuses semble nous indiquer à son tour que les éléments auxquels la silice se substituait ne formaient point encore des masses compactes et rigides; car l'attraction moléculaire en jeu dans la formation de ces nodules ne pouvait s'exercer qu'en admettant une certaine plasticité pour les matières au milieu desquelles elles se sont développées. Les détails de microstructure, dans lesquels nous sommes entré, prouvent aussi qu'il n'est pas possible d'admettre, pour expliquer la formation des phthanites, comme on l'a si souvent répété pour le flint, que ces roches proviennent de l'accumulation d'organismes

à enveloppes siliceuses. Et d'abord l'examen des lames minces ne nous montre dans ces roches que très-exceptionnellement des sections de coquilles que l'on doit rapporter aux organismes à test siliceux et si on les rencontre dans quelques cas, dans le flint, par exemple, ces enveloppes siliceuses y sont si bien conservées, qu'en admettant que la masse entière du nodule provienne de la transformation en silice gélatineuse de ces débris organiques, on ne comprend pas pourquoi quelques sections auraient échappé à cette transformation et se seraient conservées intactes au milieu de ce fusionnement. Rien ne nous prouve que la silice infiltrée dans le calcaire dérive de la décomposition des spicules spongiaires, des frustules de diatomées. Ajoutons enfin que nos phthanites ne présentent aucune analogie avec les dépôts d'organismes microscopiques siliceux signalés par Ehrenberg, spécialement en Bohême et en Sicile, ni avec les sédiments siliceux que l'exploration des mers profondes nous a montré en voie de formation sur le lit de l'Océan.

EXPLICATION DE LA PLANCHE.

Fig. 1. — Calcaire à crinoïdes I, f. Cette figure représente un calcaire où la silicification est incomplète, la masse fondamentale brunâtre est composée entièrement de silice dans laquelle se trouvent de nombreux petits cristaux rhomboédriques. Le calcaire a été presque entièrement remplacé par la silice sauf dans une section verticale de tige de crinoïde, à droite, et vers le bas de la figure à gauche les plages avec traits noirs représentent les lignes hémitropiques suivant $-\frac{1}{2}R$. Les plages blanches homogènes sont remplies de quartz fibro-radié, d'autres se décomposent à la lumière polarisée en granules différemment orientés.



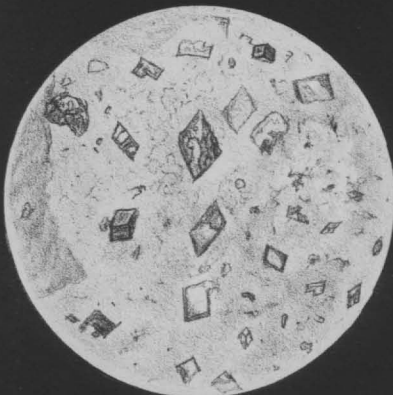
1



2



3



4



5

Fig. II. — Phthanite IV, *a*. La préparation est taillée dans une roche où l'élément calcaireux est entièrement remplacé par la silice, les formes organiques et la structure de la masse sont celles du calcaire. Les sections circulaires sont des tiges de crinoïdes microscopiques, taillées perpendiculairement à l'axe, ou des foraminifères que l'on doit rapporter aux *Saccamina*. La coupe allongée est une section d'*Endothyra*.

Fig. III. — Phthanite schistoïde I, *e* reproduisant la structure d'un type de calcaire dont les éléments ont été comprimés et alignés. Les formes organiques sont celles que l'on découvre à l'aide du microscope dans les calcaires. Elles sont déformées et redressées comme celles que l'on observe dans les variétés de calcaire schistoïde. La plaque mince représentée par cette figure offre une masse fondamentale siliceuse colorée par la matière pigmentaire que l'on retrouve dans le calcaire, les fossiles sont représentés par des filaments incolores silicifiés que la pression a plus ou moins redressés et par des sections circulaires déformées.

Fig. IV. — I, *g*. La masse fondamentale de cette roche est siliceuse, on y découvre les foraminifères du calcaire. La plage figurée montre les cristaux rhomboédriques qui ont été décrits dans la Note pp. 18 et 23.

Fig. V. — III, *e*. Cette figure représente à la partie supérieure un calcaire silicifié avec restes organiques. Le bas de la figure, à droite, montre la structure concrétionnée et fibro-radiée de la silice décrite pp. 17 et 26.

